Aciers pour traitements thermiques

Normalisation

par **Guy MURRY**
Ingénieur de l'École nationale supérieure d'électrochimie et d'électrométallurgie de Grenoble, Docteur-ingénieur
Ingénieur-conseil métallurgie et aciers
Ancien Directeur de l'Office technique pour l'utilisation de l'acier (OTUA)

1. Aciers pour traitement dans la masse ..... M 4 531 – 2
1.1 Normes de base européennes ..... — 2
1.2 Normes actuelles pour emplois spécifiques ..... — 8
2. Aciers pour trempe après chauffage localisé ..... — 12
3. Aciers pour cémentation ..... — 13
3.1 Généralités ..... — 13
3.2 Norme NF EN 10084. Aciers pour cémentation ..... — 14
3.3 Norme NF EN 10087 ..... — 15
3.4 Aciers de cémentation pour roulements de la norme NF EN ISO 683-17 ..... — 16
4. Aciers pour nitruration ..... — 17
4.1 Généralités ..... — 17
4.2 Norme NF EN 10085 « Aciers pour nitruration » ..... — 18
Pour en savoir plus ..... Doc. M 4 533

Pour répondre à l'ensemble des exigences, la gamme des ***aciers spéciaux pour traitements thermiques*** *doit comporter des nuances présentant des capacités de durcissement différentes associées à des trempabilités diverses et, éventuellement, à des spécificités propres aux conditions de mise en œuvre (mise en forme, mais aussi traitements thermiques particuliers) de telle sorte que l'utilisateur puisse toujours trouver l'acier lui permettant d'atteindre le niveau de performance visé pour la pièce qu'il réalise.*

On décrira donc dans cet article, l'ensemble des aciers pour traitements thermiques, qu'il s'agisse d'un traitement dans la masse, d'un traitement localisé ou d'un traitement thermochimique et cela en tenant compte des particularités des conditions d'emploi. En fait, le lecteur constatera que, autour d'une base commune, les aciers répondent aux particularités des conditions de traitement et d'emploi.

Mais ***la gamme complète des aciers de traitement thermique ne fait pas encore l'objet d'un corps complet de normes européennes****. Aussi, les nuances de base sont décrites par des normes européennes générales tandis que certaines nuances spécifiques (par leur mise en œuvre ou leur emploi) sont encore définies par des normes nationales qui n'ont pas été remplacées par des normes d'origine européenne. De ce fait, dans la suite de cette présentation, nous distinguerons les deux origines tout en conservant le classement en fonction des normes de base. Pour simplifier, nous nommerons « norme européenne » une norme française NF EN reproduisant une norme européenne et « norme française » une norme NF A dont le sujet ne fait pas encore l'objet d'une norme européenne.*

À noter que tous ces aciers devant subir un ou des traitements thermiques sont classés dans la catégorie des aciers spéciaux.

Toute reproduction sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie est strictement interdite.
© Techniques de l'Ingénieur, traité Matériaux métalliques

L'étude complète du sujet comprend les articles :

— M 4 530 – Aciers pour traitements thermiques. Propriétés et guide de choix ;

— M 4 531 – Aciers pour traitements thermiques. Normalisation (le présent article) ;

— M 4 532 – Aciers pour traitements thermiques. Mise en œuvre ;

— Doc. M 4 533 – Aciers pour traitements thermiques.

1. Aciers pour traitement dans la masse

1.1 Normes de base européennes

Les aciers pour traitement dans la masse sont décrits par la norme NF EN 10083 qui est subdivisée en trois parties :

— NF EN 10083-1 : « Aciers pour trempe et revenu-aciers spéciaux » ;

— NF EN 10083-2 : « Aciers pour trempe et revenu-aciers de qualité » ;

— NF EN 10083-3 : « Aciers pour trempe et revenu-aciers au bore ».

Précisons tout de suite que le **contenu de la partie 2** de la norme NF EN 10083 : « Aciers pour trempe et revenu – aciers de qualité » ne sera pas évoqué ici puisque dans cette partie de la norme il est précisé que les aciers de qualité se distinguent des aciers spéciaux par l'absence d'exigences de trempabilité en bout (référence à l'essai Jominy) ; ils ne font pas l'objet de la garantie de réponse au traitement thermique qui est indispensable pour un acier de traitement thermique.

En compléments :

— la norme NF EN 10277-5 définit des aciers pour trempe et revenu parmi les produits en acier transformés à froid ;

— la norme NF EN 10087 définit pour sa part des aciers de décolletage (teneur en soufre au moins égale à 0,1 %) parmi lesquels figurent 10 nuances pour trempe et revenu.

À ces aciers nous ajouterons des aciers qui sont aussi traités dans la masse mais dans des conditions particulières puisqu'ils subissent des traitements thermomécaniques dans le cadre des opérations de forgeage à chaud ; ils sont définis par la norme NF EN 10267.

1.1.1 Norme NF EN 10083

1.1.1.1 Domaine d'application

Cette norme spécifie les conditions techniques de livraison des produits en **aciers non alliés et alliés pour trempe et revenu** (voir NF EN 10079 pour les définitions des produits) :

— demi-produits ;
— barres (diamètre ≤ 250 mm) ;
— fil machine ;
— larges plats (épaisseur ≤ 160 mm) ;
— tôles et bandes laminées à chaud (épaisseur ≤ 160 mm) ;
— produits forgés.

La norme rappelle que ces aciers sont des aciers dits spéciaux (définis comme des aciers présentant une plus grande pureté que les aciers de qualité et qui sont généralement destinés à subir un traitement thermique pour lequel ils assurent une régularité de réponse. L'ajustement soigné de leur composition et les conditions spéciales de leur élaboration leur confèrent des propriétés particulières de mise en œuvre et d'emploi).

Le domaine d'application de la norme NF EN 10083-1 recouvre ceux définis pour les anciennes normes NF A 35-552, NF A 35-553 et NF A 35-554.

1.1.1.2 Désignation et commande

La norme précise les conditions de désignation d'un acier. Celle-ci comprend :

— la désignation « acier » ;
— la référence de la norme ;
— le nom (établi ici à partir de sa composition chimique) ou le numéro de la nuance (désignation numérique abrégée figurant dans la norme) ;
— le cas échéant, les symboles particuliers correspondant aux exigences supplémentaires ou spéciales prévues par la norme.

La **désignation des aciers non alliés à partir de leur composition chimique** est construite avec la lettre C suivie de deux chiffres traduisant la teneur moyenne en carbone en centièmes de %. Ces deux chiffres sont eux-mêmes suivis de symboles relatifs à des garanties particulières, le premier d'entre eux précisant la teneur en soufre :

— E signifiant S % ⩽ 0,035 (à la coulée) ;
— R signifiant 0,020 ⩽ S % ⩽ 0,040 (à la coulée).

La commande doit spécifier toutes les données utiles pour une description claire du produit, de son état de surface et de ses essais.

Attention : la norme comporte des annexes informatives, mais aussi des annexes normatives.

1.1.1.3 Prescriptions

1.1.1.3.1 Élaboration et état de livraison

- Les aciers doivent être calmés.
- L'**état de livraison** englobe l'état structural et l'état de surface.

En l'absence d'accord contraire lors de la commande, l'**état normal de livraison** est l'état brut de corroyage à chaud (aussi bien en ce qui concerne l'état structural que l'état de surface).

Des **états particuliers** peuvent être spécifiés à la commande. La norme prévoit les options énoncées dans l'encadré **1**.

Toute reproduction sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie est strictement interdite.
© Techniques de l'Ingénieur, traité Matériaux métalliques

Encadré 1 – Options des états particuliers de livraison prévues par la norme NF EN 10083-1

- **État de traitement thermique** :
— traité pour une meilleure aptitude au cisaillage (+S) ;
— adouci (+A) ;
— normalisé (+N) ;
— trempé et revenu (+QT) ;
— autre (à définir).
- **État de surface** :
— brut de corroyage décapé à l'acide (+PI) ;
— brut de corroyage grenaillé (+BC) ;
— brut de corroyage usiné grossièrement (à définir) ;
— autre (à définir).

1.1.1.3.2 Composition chimique et trempabilité

■ La norme définit 10 nuances d'aciers non alliés (tableau **1**) et 14 nuances d'aciers alliés (tableau **2**).

Tableau 1 – Nuances d'aciers non alliés définies par la norme NF EN 10083-1

Nom	C(%)	Nom	C(%)
C22 (1)	0,17 à 0,24	C45 (1)	0,42 à 0,50
C25 (1)	0,22 à 0,29	C50 (1)	0,47 à 0,55
C30 (1)	0,27 à 0,34	C55 (1)	0,52 à 0,60
C35 (1)	0,32 à 0,39	C60 (1)	0,57 à 0,65
C40 (1)	0,37 à 0,44	28Mn6	0,25 à 0,32

(1) Nuance comportant les deux variantes :
— CbbE avec (S% ⩽ 0,035) ;
— CbbR avec (0,020 ⩽ S% ⩽ 0,040).

Tableau 2 – Nuances d'aciers alliés définies par la norme NF EN 10083-1

Nom	Nom
38Cr2 et 38CrS2 (1)	42CrMo4 et 42CrMoS4
46Cr2 et 46CrS2	50CrMo4
34Cr4 et 34CrS4	36CrNiMo4
37Cr4 et 37CrS4	34CrNiMo6
41Cr4 et 41CrS4	30CrNiMo8
25 CrMo4 et 25CrMoS4	36CrNiMo16
34CrMo4 et 34CrMoS4	51CrV4

(1) Exemple :
— pour 38Cr2 S% ⩽ 0,035 ;
— pour 38CrS2 0,020 ⩽ S% ⩽ 0,040.

■ Des **caractéristiques de trempabilité** sont définies à partir des courbes Jominy, aussi bien pour les aciers non alliés que pour les aciers alliés. La norme introduit des variantes qui proposent une amplitude réduite (d'un tiers) des bandes Jominy. Ainsi apparaissent trois définitions des garanties de trempabilité (avec bandes Jominy correspondantes) :

— **trempabilité à dispersion normale** : ajout du symbole +H (exemple : 34CrMo4+H) ;

— **trempabilité à dispersion réduite aux deux tiers supérieurs de la bande normale** : ajout du symbole +HH ;

— **trempabilité à dispersion réduite aux deux tiers inférieurs de la bande normale** : ajout du symbole +HL.

Attention : la trempabilité n'est pas garantie que si la désignation de l'acier comporte un des suffixes +H ou +HH ou +HL.

1.1.1.3.3 Propriétés mécaniques

Les propriétés mécaniques sont définies par rapport à la **section déterminante** du produit. La dimension de cette section déterminante est donnée sous la forme du diamètre d'un cylindre appelé **barre ronde équivalente**. Il s'agit d'un rond d'un diamètre tel que l'emplacement où seront prélevées les éprouvettes se refroidit lors de la trempe à la même vitesse que l'emplacement où seront prélevées les éprouvettes dans la section principale du produit considéré.

Les conditions de prélèvement des éprouvettes sont définies par la norme (par exemple pour des sections circulaires, les éprouvettes sont prélevées dans l'axe des barres si le diamètre de ces dernières ne dépasse pas 25 mm, dans le cas contraire elles sont prélevées à 12,5 mm de la peau).

Les valeurs indiquées pour les propriétés mécaniques ne sont garanties que lorsque le produit est commandé en l'état correspondant (trempé et revenu ou normalisé pour les aciers non alliés). À l'état trempé et revenu (selon les conditions indiquées qui prévoient un intervalle de température de revenu assez large), sont garanties R_e, R_m, A, Z et KV (les caractéristiques de rupture par choc en flexion sont données en KV – énergie de rupture de l'éprouvette Charpy V en joules – et non en KCV ou en KCU). Pour les aciers non alliés à l'état normalisé, sont garanties R_e, R_m et A.

1.1.1.3.4 Propriétés technologiques

Sous ce titre, la nouvelle norme prévoit un certain nombre de possibilités de spécifications particulières.

■ **Usinabilité**

Il est dit que tous les aciers sont usinables à l'état adouci et que, si l'unisabilité doit être supérieure, les nuances commandées doivent avoir une teneur spécifiée en soufre. Il est prévu (sans plus de détails) que des aciers à usinabilité améliorée par addition de plomb ou augmentation de la teneur en soufre jusqu'à 0,100 % (avec morphologie contrôlée des sulfures et des oxydes) peuvent être livrés sur demande.

■ **Aptitude au cisaillage des demi-produits et de barres**

Il est dit que, dans des conditions convenables, tous les aciers sont cisaillables à l'état adouci, les aciers non alliés l'étant également à l'état normalisé.

Le tableau **3** regroupe :

— les aciers non alliés dits cisaillables à l'état non traité (brut de corroyage à chaud) ;

— les aciers non alliés et alliés également cisaillables à l'état « traité pour une meilleure aptitude au cisaillage » (signification du suffixe +S). Leur dureté ne doit pas alors être supérieure à 255 HB ;

— les aciers alliés pouvant être cisaillés à l'état adouci (suffixe +A). Leur dureté ne doit pas alors dépasser une limite fixée par la norme (248 HB sauf 269 HB pour la nuance 36CrNiMo16).

■ **Structures**

Sous ce titre, la nouvelle norme inclut l'obligation pour les aciers de présenter un degré de pureté correspondant aux diverses qualités d'aciers spéciaux. Une annexe F (normative) à la norme définit les exigences à satisfaire selon la méthode d'essai choisie à la commande. Il est possible, à la commande, de spécifier une certaine finesse des grains (annexe normative B3).

■ **Défauts de surface**

Il est nécessaire, à la commande, de préciser les défauts admissibles et leur profondeur maximale tolérable (pour ce qui concerne les discontinuités, cela est faisable en s'appuyant sur la norme NF EN 10221).

Toute reproduction sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie est strictement interdite.
© Techniques de l'Ingénieur, traité Matériaux métalliques

Tableau 3 – Aptitude au cisaillage des demi-produits et des barres en acier, d'après la norme NF EN 10083-1

Aciers non alliés cisaillables à l'état non traité	Aciers cisaillables à l'état traité pour une meilleure aptitude au cisaillage		Aciers alliés pouvant être cisaillés à l'état adouci
	Aciers non alliés	Aciers alliés	
C22E ou C22R	C45E+S ou C45R+S	38Cr2+S ou 38CrS2+S	50CrMo4+A
C25E ou C25R	C50E+S ou C50R+S	46Cr2+S ou 46CrS2+S	36CrNiMo4+A
C30E ou C30R	C55E+S ou C55R+S	34Cr4+S ou 34CrS4+S	34CrNiMo6+A
C35E ou C35R	C60E+S ou C60R+S	37Cr4+S ou 37CrS4+S	30CrNiMo8+A
C40E ou C40R		41Cr4+S ou 41CrS4+S	36CrNiMo16+A
		25CrMo4+S ou 25CrMoS4+S	51CrV4+A
		34CrMo4+S ou 34CrMoS4+S	
		42CrMo4+S ou 42CrMoS4+S	

Santé interne

Il est possible de fixer à la commande des exigences relatives à la santé interne avec contrôle par essais non destructifs à définir (annexe normative B5).

1.1.1.4 Contrôle et conformité des produits

Les types de contrôle et les documents en rendant compte sont définis par la NF EN 10204. Cette norme distingue les types de documents de contrôle qui peuvent être délivrés après des contrôles réalisés par le personnel du producteur pouvant être impliqué dans la fabrication ou délivrés après des contrôles effectués par du personnel du producteur indépendant des services de fabrication. Il est important de noter que, seuls, les contrôles spécifiques sont réalisés sur les produits livrés.

En ce qui concerne les documents de contrôle à fournir par un transformateur ou un intermédiaire, les exigences sont précisés avec, notamment, nécessité de fournir les moyens permettant d'assurer la traçabilité entre le produit et la documentation et, s'il y a eu modification de l'état ou des dimensions du produit, remise d'un document de contrôle supplémentaire pour ces nouvelles conditions particulières.

La commande d'un produit doit définir le type de document de contrôle qui devra être remis. En l'absence d'indication, un relevé de contrôle est fourni.

1.1.1.5 Marquage

Les produits doivent être marqués de la manière particulière convenue lors de la commande. Ce marquage doit permettre l'identification de la coulée, de la nuance de l'acier et de l'origine de la livraison.

1.1.1.6 Équivalences entre les nuances de la norme NF EN 10083-1 et celles des anciennes normes nationales

En annexe informative E, la norme indique les **équivalences plus ou moins serrées que l'on peut admettre** entre les nuances définies par la norme et les nuances que définissaient les anciennes normes nationales. En ce qui concerne les anciennes normes françaises on peut établir le tableau **4**.

Tableau 4 – Équivalences proposées par NF EN 10083-1 entre les nouvelles et les anciennes nuances

Aciers non alliés		Aciers alliés	
Ancienne nuance française	Nuance selon NF EN 10083-1	Ancienne nuance française	Nuance selon NF EN 10083-1
XC 18	[C22E]	38 C 2	(38Cr2)
XC 18 u	[C22R]	38 C 2u	(38CrS2)
XC 25	[C25E]	32 C 4	(34Cr4)
XC 25 u	[C25R]	32 C 4u	(34CrS4)
XC 32	[C30E]	38 C 4	(37Cr4)
XC 32 u	[C30R]	38 C 4u	(37CrS4)
XC 38H1	[C35E]	42 C 4	41Cr4
XC 38H1 u	[C35R]	42 C 4u	41CrS4
XC 42H1	[C40E]	25 CD 4	25CrMo4
XC 42H1 u	[C40R]	25 CD 4u	25CrMoS4
XC 48H1	[C45E]	34 CD 4	(34CrMo4)
XC 48H1 u	[C45R]	34 CD 4u	(34CrMoS4)
XC 55H1	[C55E]	42 CD 4	42CrMo4
XC 55H1 u	[C55R]	42 CD 4u	42CrMoS4
Composition chimique : ( ) légèrement différente [ ] plus différente		30 CND 8	30CrNiMo8
		35 NCD 16	36CrNiMo16
		50 CV 4	(51CrV4)

1.1.2 Norme NF EN 10083-3

1.1.2.1 Domaine d'application

Cette norme spécifie les conditions techniques de livraison des produits (voir NF EN 10079 pour les définitions) en aciers alliés au bore pour trempe et revenu :

— demi-produits ;
— barres (diamètre ⩽ 250 mm) ;
— fil machine ;
— larges plats (épaisseur ⩽ 160 mm) ;
— tôles et bandes laminées à chaud (épaisseur ⩽ 160 mm) ;
— produits forgés.

La norme rappelle que ces aciers sont des aciers dits spéciaux (définis comme des aciers présentant une plus grande pureté que les aciers de qualité et qui sont généralement destinés à subir un traitement thermique pour lequel ils assurent une régularité de réponse. L'ajustement soigné de leur composition et les conditions spéciales de leur élaboration leur confèrent des propriétés particulières de mise en œuvre et d'emploi).

Toute reproduction sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie est strictement interdite.
© Techniques de l'Ingénieur, traité Matériaux métalliques

1.1.2.2 Désignation et commande

La norme précise les conditions de désignation d'un acier et indique que la commande doit spécifier toutes les données utiles pour une description claire du produit, de son état de surface et de ses essais.

1.1.2.3 Prescriptions

1.1.2.3.1 Élaboration et état de livraison

■ Les aciers doivent être traités de telle sorte que le bore améliore la trempabilité.

■ L'**état de livraison** englobe l'état structural et l'état de surface.

En l'absence d'accord contraire lors de la commande, l'état normal de livraison est l'état brut de corroyage à chaud (aussi bien en ce qui concerne l'état structural que l'état de surface).

Des états particuliers peuvent être spécifiés à la commande. La norme prévoit les options énoncées dans l'encadré **2**.

Encadré 2 – Options des états particuliers de livraison prévues par la norme NF EN 10083-3

- **État de traitement thermique :**
  — traité pour une meilleure aptitude au cisaillage (+S) ;
  — trempé et revenu (+QT) ;
  — autre (à définir).
- **État de surface :**
  — brut de corroyage décapé à l'acide (+PI) ;
  — brut de corroyage grenaillé (+BC) ;
  — brut de corroyage usiné grossièrement (à définir) ;
  — autre (à définir).

1.1.2.3.2 Composition chimique et trempabilité

La norme définit 6 nuances d'aciers alliés au bore (tableau **5**).

Tableau 5 – Nuances d'aciers alliés au bore définies par la norme NF EN 10083-3

Nom	Nom
20MnB5	27MnCrB5-2
30MnB5	33MnCrB5-2
38MnB5	39MnCrB6-2

Des caractéristiques de trempabilité sont définies à partir des courbes Jominy (mais attention, elles ne sont garanties que si elles sont spécifiés par addition du suffixe +H).

1.1.2.3.3 Propriétés mécaniques

Les propriétés mécaniques ne sont pas définies. La norme constate qu'actuellement il n'existe pas de document relatif aux propriétés mécaniques à l'état trempé et revenu.

Par contre, la norme donne des valeurs indicatives (annexe informative E) du diamètre maximal pour une dureté à cœur déterminée après trempe à l'eau ou après trempe à l'huile.

1.1.2.3.4 Aptitude au cisaillage des demi-produits et des barres

Les aciers 20MnB5, 30MnB5, 38MnB5 et 27MnCrB5-2 sont dits cisaillables à l'état non traité (brut de corroyage à chaud).

Les aciers 33MnCrB5-2 et 39MnCrB6-2 sont cisaillables à l'état « traité pour une meilleure aptitude au cisaillage » (suffixe +S). Leur dureté ne doit pas alors être supérieure à 255 HB.

1.1.2.3.5 Structures

Sous ce titre, la nouvelle norme inclut l'obligation pour les aciers de présenter un degré de pureté correspondant aux diverses qualités d'aciers spéciaux. Une annexe D (normative) à la norme définit les exigences à satisfaire selon la méthode d'essai choisie à la commande. Il est possible, à la commande, de spécifier une certaine finesse des grains (annexe normative A1).

1.1.2.3.6 Défauts de surface et santé interne

■ Il est nécessaire, à la commande, de préciser les **défauts admissibles** et leur profondeur maximale tolérable (pour ce qui concerne les discontinuités, cela est faisable en s'appuyant sur la norme NF EN 10221).

■ Il est possible de fixer à la commande des exigences relatives à la **santé interne** avec contrôle par essais non destructifs à définir (annexe normative A3).

1.1.2.4 Contrôle, conformité des produits et marquage

Les types de contrôle et les documents en rendant compte sont définis par la NF EN 10204. Il est important de noter que, seuls, les contrôles spécifiques sont réalisés sur les produits livrés. La commande d'un produit doit définir le type de document de contrôle qui devra être remis. En l'absence d'indication, un relevé de contrôle est fourni.

Les produits doivent être marqués de la manière particulière convenue lors de la commande. Ce marquage doit permettre l'identification de la coulée, de la nuance de l'acier et de l'origine de la livraison.

1.1.2.5 Équivalences entre les nuances de la norme NF EN 10083-3 et celles de l'ancienne norme nationale

Un avant-propos national indique les équivalences que l'on peut admettre entre deux nuances définies par la norme et deux nuances que définissait l'ancienne norme nationale :

— le 20 MB 5 a pour équivalent le 20MnB5 ;
— le 38 MB 5 a pour équivalent le 38MnB5.

1.1.3 Norme NF EN 10277-5

1.1.3.1 Domaine d'application

Cette norme spécifie les conditions techniques de livraison des barres (diamètre ≤ 100 mm) **en aciers non alliés ou alliés pour trempe et revenu** transformé à froid à l'état étiré, écrouté galeté ou rectifié. La norme rappelle que ces aciers sont des aciers spéciaux.

1.1.3.2 Composition chimique et trempabilité

■ La norme définit 5 nuances non alliées et 6 nuances alliées tirées de la norme NF EN 10083-1 (tableau **6**).

■ Pour la trempabilité, les prescriptions de la norme NF EN 10083-1 s'appliquent (§ 1.1.1.3.2).

Toute reproduction sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie est strictement interdite.
© Techniques de l'Ingénieur, traité Matériaux métalliques

Tableau 6 – Nuances d'aciers définies par la norme NF EN 10277-5

Aciers non alliés	Aciers alliés
C35E (1) et C35R (2)	34CrS4 (2)
C40E (1) et C40R (2)	41CrS4 (2)
C45E (1) et C45R (2)	25CrMoS4 (2)
C50E (1) et C50R (2)	42CrMoS4 (2)
C60E (1) et C60R (2)	34CrNiMo6 (3)
	51CrV4 (3)

(1) S% ⩽ 0,035
(2) 0,020 ⩽ S% ⩽ 0,040
(3) S% ⩽ 0,035

1.1.3.3 États de livraison et propriétés mécaniques

La norme définit les différents états de livraison en incluant les variantes relatives à la préparation mécanique de la surface. Elle indique les prescriptions correspondantes relatives à certaines caractéristiques mécaniques des produits.

Pour les **aciers non alliés**, la norme propose les états de livraison suivants (épaisseur comprise entre 5 et 100 mm :

— brut de corroyage écrouté et galeté (suffixe +SH) avec (épaisseur comprise entre 16 et 100 mm) fourchettes de dureté et de résistance à la traction ;
— étiré à froid (suffixe +C) avec (épaisseur comprise entre 5 et 100 mm sauf pour C60E et C60R épaisseur comprise entre 5 et 40 mm) fourchette de résistance à la traction et minima de limite d'élasticité et d'allongement à rupture ;
— étiré à froid, trempé et revenu (suffixe +C+QT) avec épaisseur comprise entre 16 et 100 mm) fourchette de résistance à la traction et minima de limite d'élasticité et d'allongement à rupture ;
— trempé, revenu et étiré à froid (suffixe +QT+C) avec fourchette de résistance à la traction et minima de limite d'élasticité et d'allongement à rupture.

Pour les **aciers alliés**, la norme propose les états de livraison suivants (épaisseur comprise entre 5 et 100 mm) :

— recuit étiré à froid (suffixe +A+C) avec maximum de dureté ;
— recuit écrouté et galeté (suffixe +A+SH) avec (épaisseur comprise entre 16 et 100 mm) maximum de dureté ;
— étiré à froid, trempé et revenu (suffixe +C+QT) avec (épaisseur comprise entre 16 et 100 mm) fourchette de résistance à la traction et minima de limite d'élasticité et d'allongement à rupture ;
— trempé, revenu et étiré à froid (suffixe +QT+C) avec (sauf pour la nuance 51CrV4) fourchette de résistance à la traction et minima de limite d'élasticité et d'allongement à rupture.

1.1.3.4 Grosseur de grain et inclusions non métalliques

■ Un grain fin peut être exigé selon les modalités prévues par la partie 1 de la norme NF EN 10277.

■ Pour les inclusions non métalliques, les modalités de la norme NF EN 10083-1 s'appliquent (§ 1.1.1).

1.1.3.5 Contrôle, conformité des produits et marquage

Les types de contrôle et les documents en rendant compte sont définis par la norme NF EN 10204. Il est important de noter que, seuls, les contrôles spécifiques sont réalisés sur les produits livrés. La commande d'un produit doit définir le type de document de contrôle qui devra être remis. En l'absence d'indication, un relevé de contrôle est fourni.

Les produits doivent être marqués de la manière particulière convenue lors de la commande. Ce marquage doit permettre l'identification de la coulée, de la nuance de l'acier et de l'origine de la livraison.

1.1.4 Norme NF EN 10087

1.1.4.1 Domaine d'application, désignation et commande

■ Cette norme spécifie les conditions techniques de livraison des produits en **aciers de décolletage** dont certains sont prévus pour trempe et revenu (voir NF EN 10079 pour les définitions des produits) :

— demi-produits ;
— barres laminées à chaud (diamètre < 100 mm) ;
— fil machine.

La norme rappelle que ces aciers sont des aciers dits de qualité non alliés. Ils ne répondent donc pas à des exigences relatives à leur régularité de comportement au traitement thermique.

■ La norme précise les informations qui doivent figurer dans l'appel d'offre et dans la commande.

1.1.4.2 Prescriptions

1.1.4.2.1 État de livraison et composition chimique

■ En l'absence d'accord contraire lors de la commande, les produits doivent être livrés à l'état non traité.

Des états particuliers peuvent être spécifiés à la commande.

■ La norme définit 5 nuances d'aciers de décolletage pour trempe et revenu, chaque nuance comportant deux variantes ; sans et avec addition de plomb (tableau **7**).

Tableau 7 – Nuances d'aciers de décolletage définies par la norme NF EN 10087

Nuance sans Pb	Nuance avec Pb
35S20	35SPb20
36SMn14	36SMnPb14
38SMn28	38SMnPb28
44SMn28	44SMnPb28
46S20	46SPb20

1.1.4.2.2 Trempabilité et propriétés mécaniques

■ Il s'agit d'aciers de qualité ; les caractéristiques de trempabilité ne sont pas définies.

■ La norme définit les **caractéristiques mécaniques** des aciers de décolletage pour trempe et revenu et cela pour deux états :

— état non traité (R_m et parfois dureté) ;
— état trempé et revenu (R_e, R_m et A).

Pour ce second état, la norme précise les conditions de traitement thermique. Ces caractéristiques sont définies en faisant référence à la barre ronde équivalente (dont le diamètre est dit « déterminant ». Il s'agit d'un rond d'un diamètre tel que l'emplacement où seront prélevées les éprouvettes se refroidit lors de la trempe à la même vitesse que l'emplacement où seront prélevées les éprouvettes dans la section principale du produit considéré.

1.1.4.2.3 Structures, défauts de surface et santé interne

■ Il est possible, à la commande, de spécifier une certaine finesse des grains (annexe normative B2).

Toute reproduction sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie est strictement interdite.
© Techniques de l'Ingénieur, traité Matériaux métalliques

■ Il est nécessaire, à la commande, de préciser les **défauts admissibles** et leur profondeur maximale tolérable (pour ce qui concerne les discontinuités cela est faisable en s'appuyant sur la norme NF EN 10221).

■ Il est possible de fixer à la commande des exigences relatives à la **santé interne** avec contrôle par essais non destructifs à définir (annexe normative B3).

1.1.4.3 Contrôle, conformité des produits et marquage

Le type de contrôle et les documents en rendant compte sont définis par la NF EN 10204. La commande d'un produit doit définir le type de document de contrôle qui devra être remis. En l'absence d'indication, un relevé de contrôle est fourni.

Les produits doivent être marqués de la manière particulière convenue lors de la commande. Ce marquage doit permettre l'identification de la coulée, de la nuance de l'acier et de l'origine de la livraison.

1.1.4.4 Équivalences entre les nuances de la norme NF EN 10087 et celles des anciennes normes nationales

Un avant-propos national indique les équivalences que l'on peut admettre entre certaines nuances définies par la norme et les nuances que définissaient les anciennes normes nationales (tableau **8**)

Tableau 8 – Équivalences entre les nouvelles et les anciennes nuances pour les aciers pour trempe et revenu

Ancienne nuance française	Nuance selon NF EN 10087
35 MF 6	36SMn14
35 MF 6 Pb	36SMnPb14
38 MF 5	38SMn28
38 MF 5 Pb	38SMnPb28
45 MF 6.3	44SMn28

1.1.5 Norme NF EN 10267

1.1.5.1 Domaine d'application, désignation et commande

■ Cette norme spécifie les conditions techniques de livraison des produits en **aciers spéciaux non alliés « de type ferrite-perlite aptes au durcissement par précipitation à partir des températures de formage à chaud »** (voir NF EN 10079 pour les définitions des produits) :

— demi-produits ;
— barres (diamètre < 250 mm).

■ La norme précise les informations qui doivent figurer dans l'appel d'offre et dans la commande.

1.1.5.2 Prescriptions

1.1.5.2.1 Élaboration, état de livraison

■ Les aciers doivent être calmés.

■ L'**état de livraison** englobe l'état structural et l'état de surface.

En l'absence d'accord contraire lors de la commande, l'état normal de livraison est l'état brut de corroyage à chaud (aussi bien en ce qui concerne l'état structural que l'état de surface).

Des états particuliers peuvent être spécifiés à la commande. La norme prévoit les options énoncées dans l'encadré **3**.

Encadré 3 – Options des états particuliers de livraison prévues par la norme NF EN 10087

• **État de traitement thermique** :
— traité pour une meilleure aptitude de cisaillage (+S) ;
— durci par précipitation (+P) ; les produits sont alors destinés à être directement usinés.

• **État de surface** :
— brut de corroyage décapé à l'acide (+PI) ;
— brut de corroyage grenaillé (+BC) ;
— brut de corroyage écrouté (à définir) ;
— autre (à définir).

1.1.5.2.2 Composition chimique et trempabilité

■ La norme définit cinq nuances d'aciers non alliés (tableau **9**).

Tableau 9 – Aciers non alliés définis par la norme NF EN 10267

Nom	Numéro
19MnVS6	1.1301
30MnVS6	1.1302
38MnVS6	1.1303
46MnVS6	1.1304
46MnVS3	1.1305
Les nuances offrent des variantes de teneur en soufre à définir entre 0,020 ⩽ S % ⩽ 0,060.	

La norme prévoit que la plage de teneur en soufre peut faire l'objet d'un accord à la commande.

■ La notion de trempabilité n'intervient pas ici en tenant compte du processus particulier de durcissement mis en œuvre avec ces aciers (cf. [M 4 525] *Aciers microalliés*).

1.1.5.2.3 Propriétés mécaniques

Si les produits sont commandés non traités ou traités pour cisaillage à froid, la norme indique, dans son annexe B, les valeurs de R_e, R_m, A et Z auxquelles le durcissement par précipitation après forgeage à chaud permet d'accéder. Il est bien préciser qu'alors ces indications ne sont qu'informatives et, notamment, qu'elles ne sont pas destinées à être utilisées lors de la conception des pièces (elles dépendent du processus de forgeage et de refroidissement).

Par contre, si les produits sont commandés à l'état durci par précipitation, les propriétés mécaniques (R_e, R_m, A et Z) sont garanties aux niveaux indiqués par la norme dans son *tableau 5* pour des dimensions comprises entre 30 et 120 mm.

Il est utile de noter ici que l'ancienne norme française qui définissait des aciers très semblables précisait (annexe A) que ces aciers présentent une limite d'élasticité et une ténacité (résilience) plus faibles que celles des aciers trempés et revenus généralement utilisés en construction mécanique. Elle ajoutait toutefois que leur tenue à la fatigue était comparable.

1.1.5.2.4 Structures

Sous ce titre la norme indique :

— que les nuances commandées à l'état durci par précipitation ont une structure ferrito-perlitique, mais que, dans certaines circonstances, de petites quantités de bainite et/ou de martensite peuvent être présentes ;

Toute reproduction sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie est strictement interdite.
© Techniques de l'Ingénieur, traité Matériaux métalliques

— que (annexe normative A1) la teneur en inclusion peut faire l'objet d'une exigence particulière à définir à la commande.

1.1.5.2.5 Défauts de surface, santé interne et usinabilité

■ Il est nécessaire, à la commande, de préciser les défauts admissibles et leur profondeur maximale tolérable en s'appuyant sur la norme NF EN 10221.

■ Il est possible de fixer à la commande des exigences relatives à la santé interne avec contrôle par essais non destructifs à définir (annexe normative A2).

■ La norme prévoit (dans son *tableau 3*) qu'après accord à la commande, des éléments peuvent être ajoutés pour améliorer l'usinabilité ou pour maîtriser la morphologie des sulfures et la formation d'oxydes.

1.1.5.3 Contrôle, conformité des produits et marquage

Les types de contrôle et les documents en rendant compte sont définis par la NF EN 10204. La commande d'un produit doit définir le type de document de contrôle qui devra être remis. En l'absence d'indication, un relevé de contrôle est fourni.

Les produits doivent être marqués de la manière particulière convenue lors de la commande. Ce marquage doit permettre l'identification de la coulée, de la nuance de l'acier et de l'origine de la livraison.

1.1.5.4 Équivalences entre les nuances de la norme NF EN 10267 et celles de l'ancienne norme nationale NF A 33-111

La norme indique que :

— les nuances définies sont légèrement différentes de celles de la norme NF A 33-111 en ce qui concerne les teneurs en manganèse et en soufre ;

— les profondeurs maximales des défauts de surface sont définies en appliquant la norme NF EN 10221.

1.2 Normes actuelles pour emplois spécifiques

Ces normes définissent des aciers pour emplois spécifiques : boulonnerie, roulements, chaînes mécaniques, éléments de suspension. Elles sont européennes ou encore souvent françaises.

1.2.1 Aciers pour boulonnerie

Ces aciers sont des aciers spéciaux pour traitements thermiques ; ils satisfont donc tout d'abord aux exigences propres à cette catégorie d'aciers telles qu'elles apparaissaient dans les normes générales (composition chimique, trempabilité…), mais ils doivent répondre à des conditions particulières imposées par leur emploi. Nous les décrivons donc en fonction de ce dernier.

1.2.1.1 Aciers pour boulonnerie utilisée à des températures voisines de la température ambiante

Ces aciers sont décrits par les normes NF A 35-556 et NF A 35-557.

Les nuances répertoriées sont issues de l'ancienne norme générale NF A 35-552 dont les exigences devaient être respectées. S'il est possibles de satisfaire ces dernières dans le cadre de la norme NF EN 10083 on peut proposer, à titre indicatif, les correspondances données au tableau **10**.

Tableau 10 – Correspondance (1) entre les nuances des normes NF A 35-556 et NF A 35-557 et celles de la norme NF EN 10083

Selon NF A 35-556 et NF A 35-557	Selon NF EN 10083
XC 38 H2	C35+HH ou C40+HH
38 C 2	38Cr2+H
32 C 4	32Cr4+H
38 C 4	37Cr4+H
42 C 4	41Cr4+H
25 CD 4	25CrMo4+H
34 CD 4	34CrMo4+H
42 CD 4	42CrMo4+H
30 CND 8	30CrNiMo8+H
35 NCD 16	35CrNiMo16+H
20 MB 5	20MnB5+H
38 MB 5	38MnB5+H

(1) donnée à titre indicatif

À ces nuances il est demandé de respecter, en outre, les prescriptions suivantes :

— des niveaux de caractéristiques réalisables après traitement thermique dans les conditions indiquées (trempe et revenu à 500 °C pour les aciers au bore ou 550 °C pour les aciers sans bore) ;
— des profondeurs maximales des défauts admissibles ;
— l'absence de décarburation totale ;
— des profondeurs limites de la zone partiellement décarburée.

Par ailleurs, en ce qui concerne les garanties de résilience et pour les niveaux de caractéristiques réalisables après traitement thermique pour les conditions indiquées :

— la norme NF A 35-556 impose un niveau de 35 J/cm^2 à la résilience mesurée sur éprouvettes à entaille en V à – 20 °C ;

— la norme NF A 35-557 prévoit la possibilité d'obtenir, après accord à la commande, une garantie de résilience minimale de 35 J/cm^2 à – 20 °C sur éprouvette à entaille en V;

— les deux normes prévoient, pour les aciers : CD 4, 30 NC 11, 30 CND 8 et 35 NCD 16, la possibilité d'obtenir, après accord à la commande, une garantie de résilience minimale de 35 J/cm^2 à – 40 °C ou à – 60 °C sur éprouvette à entaille en V.

Enfin, les deux normes précisent, pour les nuances les plus couramment utilisées, les diamètres maximaux pour lesquels une dureté donnée peut être garantie après trempe dans une huile de bonne qualité.

1.2.1.2 Aciers pour boulonnerie utilisée à température élevée et/ou basse température

Ces aciers sont définis par la norme NF EN 10269 « Aciers et alliages de nickel pour éléments de fixation utilisés à température élevée et/ou basse température ». Cette norme remplace à la fois :

— la norme NF A 35-558 qui décrivait des aciers spéciaux…pour éléments de fixation…pour emplois à température élevées. Cette norme précisait que « température élevée » signifiait ici température comprise entre 250 et 650 °C, mais elle spécifiait des nuances pour l'emploi à des températures inférieures ou égales à 350 °C (et donc comprises entre 250 et 350 °C) et d'autres nuances pour emploi à des températures supérieures à 350 °C (et donc comprises entre 350 et 650 °C) ;

Toute reproduction sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie est strictement interdite.
© Techniques de l'Ingénieur, traité Matériaux métalliques

— la norme NF A 35-559 qui décrivait des aciers spéciaux...pour éléments de fixation...pour emplois à basses températures. Cette norme spécifiait des nuances pour emploi à des températures pouvant aller jusqu'à – 120 °C et d'autres nuances pour emploi à des températures allant jusqu'à – 196 °C.

La norme NF EN 10269 ne précise pas les domaines de température dans lesquels les diverses nuances peuvent être employées, nous tenterons de les indiquer à partir des indices repérables dans son texte. Elle définit :

— 20 aciers dits « pour trempe et revenu (tableau **11**) ;

Tableau 11 – Aciers pour trempe et revenu

Nom	Numéro	Nom	Numéro
19MnB4	1.5523	21CrMoV5-7	1.7709
C35E	1.1181	20CrMoVTiB4-10	1.7729
C45E	1.1191	34CrNiMo6	1.6582
35B2	1.5511	30CrNiMo8	1.6580
20Mn5	1.1133	X12Ni5	1.5680
25CrMo4	1.7218	X8Ni9	1.5662
42CrMo4	1.7225	X15CrMo5-1	1.7390
42CrMo5-6	1.7233	X22CrMoNiV12-1	1.4923
40CrMoV4-6	1.7711	X12CrNiMoV12-3	1.4938
41NiCrMo7-3-2	1.6563	X19CrMoNiNbVN11-1	1.4913

— 14 aciers austénitiques (tableau **12**) ;

Tableau 12 – Aciers austénitiques

Nom	Numéro	Nom	Numéro
X2CrNi18-9	1.4307	X6CrNi18-10	1.4948
X5CrNi18-10	1.4301	X10CrNiMoMnNbVN15-10-1	1.4982
X4CrNi18-12	1.4303	X3CrNiMoBN17-13-3	1.4910
X2CrNiMo17-12-2	1.4404	X6CrNiMo17-12-2	1.4919
X5CrNiMo17-12-2	1.4401	X6CrNiTiB18-10	1.4941
X2CrNiMoN17-13-3	1.4429	X6NiCrTiMoVB25-15-2	1.4980
X3CrNiCu18-9-14	1.4567	X7CrNiMoBNb16-16	1.4986

— deux alliages « base nickel ».

Pour toutes ces nuances, la **norme définit des garanties relatives** :

— à la composition chimique avec des teneurs limites variables en soufre et phosphore ;

— aux propriétés mécaniques à la température ambiante pour les états de livraison correspondant :

- pour certains aciers pour trempe et revenu, aux états normalement appliqués en vue d'une transformation ultérieure,
- pour tous les aciers, aux états normalement appliqués comme traitement thermique final ;

— à la limite d'élasticité à la température élevées pour certains aciers pour trempe et revenu et pour tous les aciers austénitiques (sauf pour la nuance X3CrNiCu18-9-4) ;

— à la résistance à la traction à températures élevées pour les aciers austénitiques (sauf pour la nuance X3CrNiCu18-9-4) ;

— à l'énergie minimale de rupture par choc à basse température (KV en long) pour certains aciers pour trempe et revenu et pour tous les aciers austénitiques (sauf pour la nuance X3CrNiCu18-9-4).

La norme indique par ailleurs que :

— la classe de qualité de surface exigée doit être spécifiée selon la norme NF EN 10221 ;

— les exigences en matière de santé interne peuvent faire l'objet d'un accord à la commande.

Par ailleurs, la norme donne à titre indicatif :

— pour certaines nuances, des valeurs moyennes des caractéristiques de fluage (allongement de 1 % et rupture) en 10 000 et 100 000 h (voire 200 000 h) ;

— pour certaines nuances, des valeurs moyennes du niveau de contrainte résiduelle après des essais de relaxation réalisés à différentes températures et à partir de différentes contraintes initiales.

Les garanties données en matière de limite d'élasticité à chaud et de résilience à basse température ainsi que les données relatives aux caractéristiques de résistance au fluage permettent d'estimer ce que peuvent être les domaines d'emploi des aciers définis par la norme NF EN 10269 ; les tableaux **13** et **14** proposent, à titre indicatif, un tel classement et une estimation des équivalences possibles avec les aciers définis par les normes précédentes :

— pour emploi à température élevée ;

— pour emploi à basse température.

1.2.2 Aciers pour roulements

Ces aciers sont utilisables dans la fabrication des roulements ; ils sont définis par la norme NF EN ISO 683-17 « Aciers pour traitement thermique, aciers alliés et aciers pour décolletage – Partie 17 : aciers pour roulements ».

Cette norme, qui a remplacé la norme NF A 35-565, spécifie les conditions techniques de livraison des produits en aciers spéciaux :

— demi-produits ;
— barres (si rondes diamètre ⩾ 8 mm) ;
— fil machine (diamètre ⩾ 5 mm) ;
— fil ;
— tubes ;
— anneaux et disques.

Elle classe ces aciers spéciaux en cinq catégories :

— aciers trempés à cœur ;
— aciers de cémentation ;
— aciers pour trempe par induction ;
— aciers inoxydables pour roulement ;
— aciers pour roulements résistant à chaud.

Seuls sont considérés ici les aciers trempés à cœur, les aciers inoxydables et les aciers pour roulements travaillant à chaud (les aciers pour trempe par induction et les aciers de cémentation sont décrits avec l'ensemble des aciers de leur catégorie).

Tous ces aciers doivent présenter un haut niveau de propreté, c'est-à-dire une faible teneur en inclusions non métalliques ; les prescriptions relatives à ce point sont précisées dans l'annexe A de la norme.

Les produits peuvent être livrés dans **neuf états de surface** qui ne sont pas réalisables pour tous les produits et sont parfois réservés à un seul (exemple l'état +CP réservé aux tubes) :

— brut de traitement thermique ;
— écrouté (suffixe +P) ;
— tourné (suffixe +T) ;
— rectifié (suffixe +GR) ;
— usiné (suffixe +MA) ;
— étiré à froid (suffixe +CD) ;
— étiré à froid sur laminoir à pas de pèlerin (suffixe +CP) ;
— laminé à froid (suffixe +CR) ;
— autre à définir à la commande.

La norme indique par ailleurs qu'il est possible, à la commande de barres et de fil machine, de préciser les défauts admissibles et leur profondeur maximale tolérable en se référant à l'ISO 9443.

Toute reproduction sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie est strictement interdite.
© Techniques de l'Ingénieur, traité Matériaux métalliques

Tableau 13 – Aciers avec garanties de limite d'élasticité à chaud et éventuellement de caractéristiques de fluage

Aciers pour trempe et revenu		Aciers austénitiques	
Nuance selon NF EN 10269	**Selon ex NF A 35-558**	**Nuance selon NF EN 10269**	**Selon ex NF A 35-558**
C35E (1)		X2CrNi18-9	
C45E		X5CrNi18-10	
35B2		X4CrNi18-12	
20Mn5 (1)		X2CrNiMo17-12-2	
25CrMo4 (1)	25 CD 4	X5CrNiMo17-12-2	
42CrMo4		X2CrNiMo17-13-3	
42CrMo5-6 (1)		X6CrNi18-10 (1)	
40CrMoV4-6 (1)	42 CDV 4	X10CrNiMoMnNbVN15-10-1 (1)	
21CrMoV5-7 (1)	20 CDV 5-07	X3CrNiMoBN17-13-3 (1)	
20CrMoVTiB4-10 (1)		X6CrNiMO17-12-2 (1)	
X15CrMo5-1 (1)	Z 15 CD 5-05	X6CrNiTiB18-10 (1)	
X22CrMoNiV12-1 (1)		X6NiCrTiMoVB25-15-2 (1)	Z6NCTDV25-15
X12CrNiMoV12-3	Z 12 CNDV 12-02	X7CrNiMoBNb16-16 (1)	
X19CrMoNiNbVN11-1 (1)			

(1) Garanties de caractéristiques de fluage

Tableau 14 – Aciers avec garanties de résilience à basse température

Aciers pour trempe et revenu		Aciers austénitiques	
Nuance selon NF EN 10269	**Selon ex NF A 35-559**	**Nuance selon NF EN 10269**	**Selon ex NF A 35-559**
19MnB4		X2CrNi18-9	
20Mn5		X5CrNi18-10	Z6CN18-09
25CrMo4	25 CD 4	X4CrNi18-12	
42CrMo4	42 CD 4	X2CrNiMo17-12-2	
41NiCrMo7-3-2		X5CrNiMo17-12-2	
34CrNiMo6		X2CrNiMoN17-13-3	
30CrNiMo8	30 CND 8	X6CrNi18-10	
X12Ni5		X10CrNiMoMnbVN15-10-1	
X8Ni9	Z 8 N 09	X3CrNiMoBN17-13-3	
		X6CrNiMo17-12-2	
		X6CrNiTiB18-10	
		X6NiCrTiMoVB25-15-2	
		X7CrNiMoBNb16-16	

1.2.2.1 Aciers trempés à cœur

Cette catégorie regroupe huit nuances (tableau **15**).

La norme propose **différents états structuraux de livraison** et précise les prescriptions correspondantes relatives à la dureté des produits :

— non traité (état brut de corroyage à chaud) ;

— traité pour une meilleure aptitude au cisaillage (suffixe +S) dureté maximale et structure à définir à la commande ;

— sphéroïdisé (suffixe +AC) avec fixation d'une limite supérieure de la dureté ;

— sphéroïdisé et traité pour une meilleure aptitude à la transformation à froid (suffixe +AC+C) avec fixation d'une limite supérieure de la dureté sauf pour 100CrMnSi4-4, 100CrMo7-3 et 100CrMnMoSi8-4-6 ;

— autres à définir à la commande.

1.2.2.2 Aciers inoxydables pour roulement

Cette catégorie regroupe 4 nuances ; il faut remarquer que ce sont des aciers à teneur en carbone assez élevée (tableau **16**).

Toute reproduction sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie est strictement interdite.
© Techniques de l'Ingénieur, traité Matériaux métalliques

Tableau 15 – Aciers trempés à cœur	
Nom	**Numéro**
100Cr6	B1
100CrMnSi4-4	B2
100CrMnSi6-4	B3
100CrMnSi6-6	B4
100CrMo7	B5
100CrMo7-3	B6
100CrMo7-4	B7
100CrMnMoSi8-4-6	B8
pour tous ces aciers S % ⩽ 0,015	

Tableau 16 – Aciers inoxydables	
Nom	**Numéro**
X47Cr14	B50
X65Cr14	B51
X108CrMo17	B52
X89CrMoV18-1	B53
pour tous ces aciers S % ⩽ 0,015	

La norme propose différents états structuraux de livraison et précise les prescriptions correspondantes relatives à la dureté des produits :

— non traité (état brut de corroyage à chaud) ;
— sphéroïdisé (suffixe +AC) avec fixation d'une limite supérieure de la dureté ; cet état assure l'aptitude au cisaillage ;
— sphéroïdisé et traité pour une meilleur aptitude à la transformation à froid (suffixe +AC+C) avec fixation d'une limite supérieure de la dureté qui peut dépasser d'environ 50 HB la limite fixée pour l'état +AC ;
— autres à définir à la commande.

1.2.2.3 Aciers pour roulements résistant à chaud

Cette catégorie regroupe 4 nuances (tableau **17**)

Tableau 17 – Aciers résistant à chaud	
Nom	**Numéro**
80MoCrV42-16 (1)	B60
13MoCrNi42-16-14 (1)	B61
X82WmoCrV6-5-4 (2)	B62
X75WCrV18-4-1 (1)	B63
(1) S % ⩽ 0,015 (2) S % ⩽ 0,010	

La norme propose **différents états structuraux de livraison** et précise les prescriptions correspondantes relatives à la dureté des produits :

— non traité (état brut de corroyage à chaud) aptitude au cisaillage ;
— recuit (suffixe +A) avec fixation d'une limite supérieure de la dureté uniquement pour la nuance 13MoCrNi42-16-14 ;
— sphéroïdisé (suffixe +AC) avec fixation d'une limite supérieure de la dureté sauf pour la nuance 13MoCrNi42-16-14 ;
— sphéroïdisé et traité pour une meilleure aptitude à la transformation à froid (suffixe +AC+C) avec fixation (sauf pour la nuance 13MoCrNi42-16-14) d'une limite supérieure de la dureté qui peut dépasser d'environ 50 HB la limite fixée pour l'état +AC ;
— autres à définir à la commande.

1.2.3 Aciers pour chaînes mécaniques

Ces aciers sont définis par la norme NF A 35-566 qui décrit deux catégories d'aciers :

— des aciers pour chaînes non traitées ;
— des aciers pour chaînes subissant un traitement thermique.

Nous ne nous intéressons ici qu'aux aciers de la seconde catégorie. Dans ce cadre, la norme prend en compte les aciers suivants.

■ Aciers de l'ancienne norme NF A 35-511

Ils s'agit des anciennes nuances XC 18, 21 B 3, 20MB 5, 20 NC 6 et 20 NCD 2 pour lesquelles on abaisse légèrement les fourchettes de teneur en silicium et on impose une teneur minimale (0,020 %) en aluminium pour faciliter le soudage par étincelage. Dans la mesure où les garanties correspondent aux anciennes exigences, on peut proposer, à titre indicatif, les remplacements suivants :

— à partir des anciers définis par la norme NF EN 10084 :
- C16E+H pour XC 18,
- 18NiCr5-4+H pour 20 NC 6,
- 20NiCrMo2-2+H pour 20 NCD 2 ;

— à partir de la norme NF en 10083-3 :
- 20MnB5+H pour 20 MB 5.

■ Aciers de l'ancienne norme NFA 35-552

Il s'agit des anciennes nuances XC 25 et 20 M 5 pour lesquelles on abaisse les fourchettes de teneur en silicium et on impose une teneur minimale en aluminium (0,020 %). Dans la mesure où les garanties correspondent aux anciennes exigences, on peut proposer à partir des aciers définis par la norme NF EN 10083 et à titre indicatif, le remplacement suivant :

— C25E+H pour XC 25.

■ Aciers spécifiques

Il s'agit des anciennes nuances 22 NCD 2, 23 NCDB 2, 23 D 5, 23 MNCD 5, 25 MNCD 6, 25 MNDC 6, 25 MNDCV 5, 25 MNCDV 6 et 25 MS 5, cette dernière nuance 25MS 5 étant réservée à la fabrication de chaînes soumises à une usure intense.

■ Tous ces aciers doivent répondre à des exigences qui leur sont propres et qui concernent :

— la **grosseur du grain austénitique** qui doit correspondre (selon norme NF A 04-102) à un indice compris entre 5 et 8 ;
— la **décarburation** : une décarburation totale n'est pas tolérée et la profondeur de décarburation partielle est limitée, la limite dépendant du diamètre des barres ;
— le **vieillissement** : il est dit que ces aciers doivent présenter une bonne résistance au vieillissement (d'où la fixation d'une teneur minimale en aluminium) ;
— la **soudabilité** : l'aptitude au soudage électrique par résistance ou par étincelage doit être garantie (d'où la sélection d'aciers à teneur en carbone limitée) ;
— le **comportement au traitement thermique** ; à travers des niveaux minimaux de dureté garantis en deux points de la courbe Jominy :
- à 1,5 mm afin d'assurer le niveau de capacité de durcissement nécessaire,
- à 5 mm afin de fixer une limite inférieure à la trempabilité.

L'état de livraison de ces aciers doit être précisé à la commande.

Toute reproduction sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie est strictement interdite.
© Techniques de l'Ingénieur, traité Matériaux métalliques

Par ailleurs, la norme NF A 35-566 donne des indications sur le niveau des caractéristiques mécaniques qui peuvent être obtenues après traitement thermique (dans des conditions spécifiées) de ronds de différents diamètres (⩽ 16 mm ou compris entre 16 et 40). Il est indiqué que ces niveaux ne sont pas ceux que l'on pourra obtenir sur des chaînes traitées dans les mêmes conditions.

1.2.4 Aciers pour éléments de suspension

Ces aciers sont définis par la norme NF A 35-571 qui décrit 26 nuances (tableau **18**) :

— 1 acier spécial non allié, C42 ;
— 25 aciers spéciaux alliés.

Tableau 18 – Nuances d'aciers spéciaux alliés définies par la norme NF A 35-571

Acier au Si	Autres aciers
40Si7	55Cr3
46Si7	60Cr3
51Si7	45Cr4
56Si7	51CrMoV4
60Si7	51CrV4
60SiCr3	51CrMoV4
54SiCr6	60CrMo3
56SiCr7	60CrMo4
61SiCr7	60NiCrMo2
45SiCrV6	36NiCrMo16
54SiCrV6	
56SiCrV7	
60SiCrV7	Tous ces aciers avec P % ⩽ 0,025 S % ⩽ 0,025
45SiCrMo6	
50SiCrMo6	
52SiCrNi5	

Ce sont des aciers spéciaux pour traitements thermiques livrés à l'état de barres, fil machine et plats laminés à chaud, destinés à la fabrication d'éléments de suspension formés à chaud ou à froid.

Ces aciers, livrés à l'état brut de laminage (sauf convention contraire à la commande) doivent satisfaire à des exigences qui concernent :

— la **composition chimique** (à noter P % ⩽ 0,025 et S % ⩽ 0,025) ;
— la **grosseur du grain austénitique** qui doit correspondre à un indice (selon NF A 04-102) supérieur ou égal à 6 ;
— les caractéristiques mécaniques mesurées sur éprouvettes prélevées et traitées suivant les prescriptions de la norme NF EN 10083 ;
— la **trempabilité** : la courbe Jominy des aciers doit s'inscrire dans des bandes définies par la norme ;
— les **défauts internes ou superficiels** qui ne doivent pas être préjudiciables à la mise en œuvre et à l'utilisation judicieuses ; des examens de contrôle de l'état de santé des produits peuvent être prescrits ;
— la **propreté inclusionnaire** ;
— la **décarburation** : une décarburation totale n'est pas tolérée et la profondeur de décarburation partielle est limitée, la limite dépend du diamètre des barres.

La norme NF A 35-571 est encore valable pour environ 1 an. Un projet (PR NF EN 10089) est en préparation.

2. Aciers pour trempe après chauffage localisé

La gamme de base de ces aciers est décrite par la norme NF A 35-563.

Elle comprend un certain nombre d'aciers qui figuraient dans l'ancienne norme NF A 35-552 et fait référence à leur définition de base qui figurait dans cette norme aujourd'hui annulée. Il s'agissait de nuances qui, pour les besoins du traitement considéré, ont toutes une teneur minimale en carbone égale ou supérieure à 0,34 % :

— XC 42 – H1 et H2 ;
— XC 48 – H1 et H2 ;
— XC 55 – H1 et H2 ;
— 40 M 6 ;
— 38 et 42 C 2 ;
— 38 et 42 C 4 ;
— 38 et 42 CD 4 ;
— 50 CV 4 ;
— 38 B 3 ;
— 38 MB 5 ;
— 38 CB 1.

La norme NF A 35-563 définit simplement des garanties complémentaires en ce qui concerne la teneur en phosphore (⩽ 0,025 %), l'indice de grosseur de grain austénitique (5 à 8) et la dureté minimale sur couche trempée.

Les différentes compositions proposées permettent de faire varier la profondeur durcie (en dehors des réglages du chauffage et au-delà de 2 à 3 mm) par modification de la trempabilité. La figure **1** décrit les différents couples trempabilité/capacité de durcissement superficiel correspondants [10].

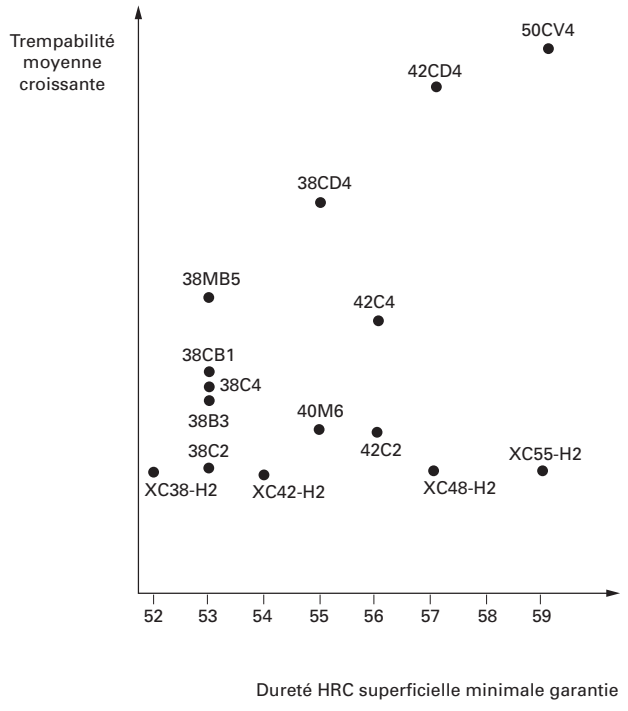
À titre de dépannage provisoire, on peut proposer des équivalences avec les nuances définies par la norme NF EN 10083-1 (tableau **19**).

Tableau 19 – Équivalences provisoires entre les anciennes et les nouvelles nuances

Nuance selon NF A 35-563	Nuance selon NF EN 10083-1
XC 42 – H1	C40E + HL
XC 42 – H2	C40E + HH
XC 48 – H1	C45E + HL
XC 48 – H2	C45E + HH
XC 55 – H1	C55E + HL
XC55 – H2	C55E + HH
40 M 6	
38 C 2	38Cr2 + H
42 C 2	
38 C 4	37Cr4 + H
42 C 4	41Cr4 + H
38 CD 4	
42 CD 4	42CrMo4 + H
50 CV 4	51CrV4 + H

Des aciers pour trempe par induction destinés à la fabrication de roulements sont définis par la norme NF EN ISO 683-17 « Aciers pour traitement thermique, aciers alliés et aciers pour décolletage – Partie 17 : aciers pour roulements ». Cette norme qui a remplacé la norme NF A 35-565 spécifie les conditions techniques de livraison des produits en aciers spéciaux :

Toute reproduction sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie est strictement interdite.
© Techniques de l'Ingénieur, traité Matériaux métalliques



Les aciers XC – H1 se situent sur les mêmes verticales que les aciers XC – H2 mais à des niveaux inférieurs.
HRC dureté Rockwell C

Figure 1 – Dureté superficielle et trempabilité des aciers pour trempe après chauffage superficiel définis par la norme NF A 35-563
d'après [10]

— demi-produits ;
— barres (si rondes diamètre ⩾ 8 mm) ;
— fil machine (diamètre ⩾ 5 mm) ;
— fil ;
— tubes ;
— anneaux et disques.

Elle classe ces aciers spéciaux en cinq catégories parmi lesquelles figure celle des aciers pour trempe par induction qui sont seuls considérés. Cette catégorie regroupe 4 nuances (tableau **20**).

Tableau 20 – Aciers pour trempe par induction

Nom	Numéro
C56E2	B40
56Mn4	B41
70Mn4	B42
43CrMo4	B43
pour tous ces aciers S % ⩽ 0,015	

Les limites de dureté dans l'essai de détermination de trempabilité par trempe en bout sont seulement définies pour la nuance 43CrMo4 (pour les autres nuances ces limites peuvent être fixées à la commande).

Ces aciers doivent être à grains fins.

La norme propose différents états structuraux de livraison et précise les prescriptions correspondantes relatives à la dureté des produits :

— non traité (état brut de corroyage à chaud) ;
— traité pour une meilleure aptitude au cisaillage (suffixe +S) avec fixation d'une limite supérieure à la dureté (il peut être nécessaire de recourir ici à l'état +A) ;
— recuit (suffixe +A) avec fixation d'une limite supérieure de la dureté ;
— autres à définir à la commande.

Ces aciers doivent présenter un haut niveau de propreté, c'est-à-dire une faible teneur en inclusions non métalliques ; les prescriptions relatives à ce point sont précisées dans l'annexe A de la norme.

Les produits peuvent être **livrés dans 9 états de surface** qui ne sont pas réalisables pour tous les produits et sont parfois réservés à un seul (exemple l'état +CP réservé aux tubes) :

— brut de traitement thermique ;
— écrouté (suffixe +P) ;
— tourné (suffixe +T) ;
— rectifié (suffixe +GR) ;
— usiné (suffixe +MA) ;
— étiré à froid (suffixe +CD) ;
— étiré à froid sur laminoir à pas de pèlerin (suffixe +CP) ;
— laminé à froid (suffixe +CR) ;
— autre à définir à la commande.

La norme indique par ailleurs qu'il est possible, à la commande de barres et de fil machine, de préciser les défauts admissibles et leur profondeur maximale tolérable en se référant à l'ISO 9443.

3. Aciers pour cémentation

3.1 Généralités

Les traitements de cémentation (suivis d'une trempe), ayant pour objet l'obtention d'une couche martensitique très dure (haute teneur en carbone) s'appuyant sur un cœur tenace, sont appliqués à des aciers dont la teneur en carbone de base est limitée de telle sorte que la martensite et la bainite susceptibles de se former à cœur conservent une ductilité suffisante ; cette limite est en général inférieure à 0,25 %.

La trempabilité de ces aciers peut conditionner partiellement la profondeur de cémentation (mais cette dernière dépend surtout des conditions de cémentation). Par contre, c'est d'elle que va dépendre la résistance à cœur des pièces. En effet, la limitation de la teneur en carbone du métal de base ne permet pas de modifier la capacité de durcissement et c'est donc, dans ces limites, l'état structural qui détermine le niveau des performances mécaniques.

Par ailleurs, il faut noter que le choix des éléments d'alliage doit tenir compte de leur influence sur les différents phénomènes mis en jeu :

— équilibre avec le potentiel de carbone du milieu de cémentation : un élément d'alliage peut être sous-cémentant (il abaisse la teneur en carbone d'équilibre en surface par rapport au milieu cémentant comme le nickel, le silicium et le vanadium) ou surcémentant (il augmente la teneur en carbone d'équilibre en surface par rapport au milieu cémentant comme le manganèse, le chrome et le bore) ;
— précipitation de carbures intergranulaires et formation de carbures d'éléments carburigènes ;
— oxydation interne favorisant la formation de perlite ou de bainite (influence néfaste de Mn, Si, Cr) ;
— abaissement de la température M_s et donc augmentation de la teneur en austénite résiduelle.

Toute reproduction sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie est strictement interdite.
© Techniques de l'Ingénieur, traité Matériaux métalliques

3.2 Norme NF EN 10084. Aciers pour cémentation

3.2.1 Domaine d'application et désignation et commande

■ Cette norme spécifie les conditions techniques de livraison des produits en **aciers non alliés ou alliés pour cémentation** (voir NF EN 10079 pour les définitions des produits) :

— demi-produits ;
— barres (diamètre ⩽ 250 mm) ;
— fil machine ;
— larges plats (épaisseur ⩽ 160 mm) ;
— tôles et bandes laminées à chaud (épaisseur ⩽ 160 mm) ;
— produits forgés.

La norme rappelle que ces aciers sont des aciers dits spéciaux (définis comme des aciers présentant une plus grande pureté que les aciers de qualité et qui sont généralement destinés à subir un traitement thermique pour lequel ils assurent une régularité de réponse. L'ajustement soigné de leur composition et les conditions spéciales de leur élaboration leur confèrent des propriétés particulières de mise en œuvre et d'emploi).

■ La norme précise les informations qui doivent figurer dans l'appel d'offre et dans la commande.

3.2.2 Prescriptions

3.2.2.1 Élaboration et état de livraison

Les aciers doivent être calmés.

■ L'état de livraison englobe l'état structural et l'état de surface.

En l'absence d'accord contraire lors de la commande, l'état normal de livraison est l'état brut de corroyage à chaud (aussi bien en ce qui concerne l'état structural que l'état de surface).

Des états particuliers peuvent être spécifiés à la commande. La norme prévoit les options énoncées dans l'encadré **4**.

Encadré 4 – Options des états particuliers de livraison prévues par la norme NF EN 10084

• **État de traitement thermique** :
— traité pour une meilleure aptitude au cisaillage (+S) ;
— recuit avec dureté maximale (+A) ;
— recuit avec fourchette de dureté (+TH) ;
— traité pour une structure ferrite-perlite avec fourchette de dureté (+FP) ;
— autre (à définir).
• **État de surface** :
— brut de corroyage décapé à l'acide (+PI) ;
— brut de corroyage grenaillé (+BC) ;
— brut de corroyage écrouté (à définir) ;
— autre (à définir).

3.2.2.2 Composition chimique et trempabilité

■ La norme définit 3 nuances d'aciers non alliés (tableau **21**) et 19 nuances d'aciers alliés (tableau **22**).

■ Des **caractéristiques de trempabilité** sont définies à partir des courbes Jominy, aussi bien pour les aciers non alliés que pour les aciers alliés (mais attention, elles ne sont garanties que si elles sont spécifiées par addition des suffixes +H ou +HH ou +HL). La figure **2** décrit les différents couples trempabilité/capacité de durcissement superficiel correspondants.

Tableau 21 – Nuances d'aciers non alliés définies par la norme NF EN 10084

Nom	C (%)
C10 (1)	0,07 à 0,13
C15 (1)	0,12 à 0,18
C16 (1)	0,12 à 0,18

(1) nuance comportant les deux variantes :
— CbbE avec (S % ⩽ 0,035) ;
— CbbR avec (0,020 ⩽ S % ⩽ 0,040).

Tableau 22 – Nuances d'aciers alliés définies par la norme NF EN 10084

Nom	Nom
17Cr3 et 17CrS3 (1)	10NiCr5-4
28Cr4 et 28CrS4	18NiCr5-4
16MnCr5 et 16MnCrS5	17CrNi6-6
16MnCrB5	15NiCr13
20MnCr5 et 20MnCrS5	20NiCrMo2-2 et 20NiCrMoS2-2
18CrMo4 et 18CrMoS4	17NiCrMo6-4 et 17NiCrMoS6-4
22CrMoS3-5	20NiCrMoS6-4
20MoCr3 et 20MoCrS3	18CrNiMo7-6
20MoCr4 et 20MoCrS4	14CrNiMo13-4
16NiCr4 et 16NiCrS4	

(1) exemple :
— pour 17Cr3 S % ⩽ 0,035 ;
— pour 17CrS3 0,20 ⩽ S % ⩽ 0,040.

Pour les aciers alliés, la norme introduit des variantes qui proposent une amplitude réduite (d'un tiers) des bandes Jominy. Ainsi, apparaissent trois définitions des garanties de trempabilité (avec bandes Jominy correspondantes) :

— trempabilité à dispersion normale : ajout du symbole +H (exemple : 16MnCr5+H), en l'absence du H la trempabilité n'est pas garantie ;

— trempabilité à dispersion réduite aux deux tiers supérieurs de la bande normale : ajout de symbole +HH ;

— trempabilité à dispersion réduite aux deux tiers inférieurs de la bande normale : ajout du symbole +HL (ce cas n'est pas prévu pour la nuance 17Cr3 et 17CrS3).

3.2.2.3 Propriétés mécaniques et aptitude au cisaillage des demi-produits et de barres

■ Les propriétés mécaniques ne sont pas définies.

Par contre, la norme donne des valeurs indicatives (annexe informative E) de la résistance à la traction minimale en fonction du diamètre après trempe et revenu à 200 °C.

■ Tous les **aciers sont dits cisaillables à l'état recuit** avec prescription de dureté maximale (+ A) (le niveau maximum de la dureté varie de 131HB à 241HB selon la nuance et sa teneur en carbone).

Les nuances 28Cr4 et 28CrS4, 20MnCr5 et 20MnCrS5, 22CrMoS3-5, 20MoCr3 et 20MoCrS3, 20MoCr4 et 20MoCrS4, 16NiCr4 et 16NiCrS4, 18NiCr5-4, 17CrNi6-6, 15NiCr13, 17NiCrMo6-4 et 17NiCrMoS6-4, 20NiCrMoS6-4, 18CrNiMo7-6 sont dites cisaillables à l'état traité pour améliorer leur aptitude au cisaillage (+S). Leur dureté ne doit pas alors être supérieure à 255HB.

Toute reproduction sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie est strictement interdite.
© Techniques de l'Ingénieur, traité Matériaux métalliques

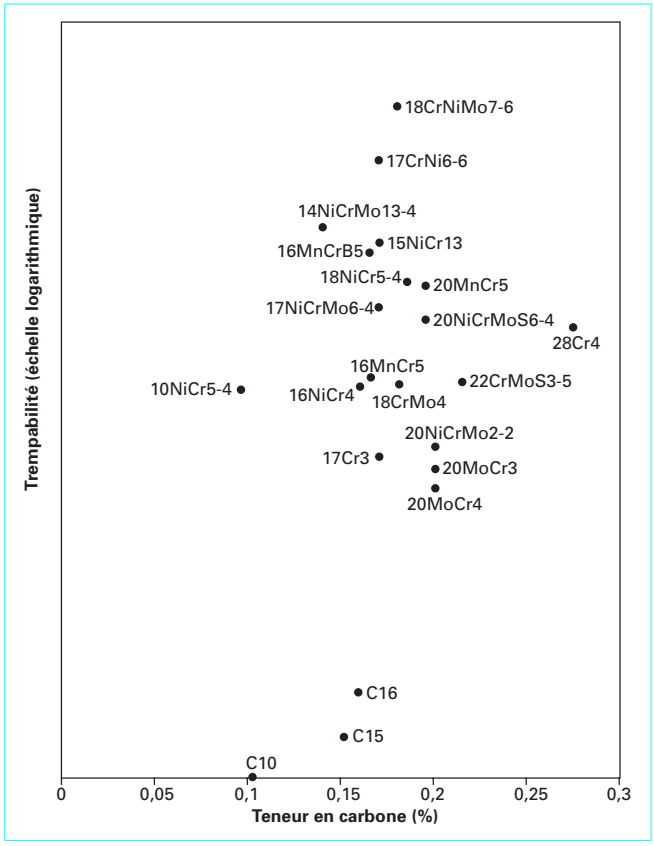


Figure 2 – Trempabilité en fonction de la teneur en carbone des aciers pour cémentation

Les aciers non alliés et les nuances 17Cr3 et 17CrS3, 16MnCr5 et 16MnCrS5, 16MnCrB5, 18CrMo4 et 18CrMoS4, 10NiCr5-4, 20NiCrMo2-2 et 20NiCrMoS2-2, sont aptes au cisaillage à l'état non traité.

3.2.2.4 Structures, défauts de surface et santé interne

■ Sous le terme « structures » la norme inclut :

— l'obligation pour les aciers de présenter un degré de pureté correspondant aux diverses qualités d'aciers spéciaux. Un annexe D (normative) à la norme définit les exigences à satisfaire selon la méthode d'essai choisie à la commande ;

— une exigence de finesse du grain austénitique : l'indice doit être compris entre 5 et 8 pour au moins 70 % de la surface examinée.

■ Il est nécessaire, à la commande, de préciser les **défauts admissibles** et leur profondeur maximale tolérable (pour ce qui concerne les discontinuités cela est faisable en s'appuyant sur les normes NF EN 10221 et NF EN 10163-2).

■ Il est possible de fixer à la commande des exigences relatives à la **santé interne** avec contrôle par essais non destructifs à définir (annexe normative A2).

3.2.3 Contrôle, conformité des produits et marquage

Les types de contrôle et les documents en rendant compte sont définis par la NF EN 10204. La commande d'un produit doit définir le type de document de contrôle qui devra être remis. En l'absence d'indication, un relevé de contrôle est fourni.

Les produits doivent être marqués de la manière particulière convenue lors de la commande. Ce marquage doit permettre l'identification de la coulée, de la nuance de l'acier et de l'origine de la livraison.

3.2.4 Équivalences entre les nuances de la norme NF EN 10084 et celles de l'ancienne norme nationale

En annexe informative E, la norme indique les équivalences plus ou moins serrées que l'on peut admettre entre les nuances définies par la norme et les nuances que définissaient les anciennes normes nationales. En ce qui concerne les anciennes normes françaises on peut dresser le tableau **23**.

Tableau 23 – Équivalences entre anciennes et nouvelles nuances proposées par NF EN 10084

Ancienne nuance française	Nuance selon NF EN 10084	Ancienne nuance française	Nuance selon NF EN 10084
XC 10	C10E	18 CD 4	18CrMo4
XC 18	C16E	10 NC 6	10NiCr5-4
		20 NC 6	18NiCr5-4
16 MC 5	16MnCr5	20 NCD 2	20NiCrMo2-2
20 MC 5	20MnCr5	18 NCD 6	17NiCrMo6-4

À titre indicatif, on peut ajouter les remarques suivantes :

— la nuance 16 CN 6 définie par la norme NF A 35-567 a une composition chimique très proche de la nuance 17CrNi6-6 ;

— la nuance 16 NCD 13 définie par la norme NF A 35-567 a une composition chimique assez proche de la nuance 14NiCrMo13-4.

3.3 Norme NF EN 10087

3.3.1 Domaine d'application et désignation et commande

■ Cette norme spécifie les conditions techniques de livraison des produits en **aciers de décolletage dont certains sont prévus pour la cémentation** (voir NF EN 10079 pour les définitions des produits) :

— demi-produits ;
— barres laminées à chaud (diamètre ⩽ 100 mm) ;
— fil machine.

La norme rappelle que ces aciers sont des aciers dits de qualité non alliés. Ils ne répondent donc pas à des exigences relatives à leur régularité de comportement au traitement thermique.

■ La norme précise les informations qui doivent figurer dans l'appel d'offre et dans la commande.

3.3.2 Prescriptions

■ **État de livraison**

En l'absence d'accord contraire lors de la commande, les produits doivent être livrés à l'état non traité.

Des états particuliers peuvent être spécifiés à la commande.

Toute reproduction sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie est strictement interdite.
© Techniques de l'Ingénieur, traité Matériaux métalliques

Composition chimique

La norme définit 2 nuances d'aciers de décolletage pour cémentation, une nuance comportant deux variantes, sans et avec addition de plomb (tableau **24**).

Tableau 24 – Nuances d'aciers de décolletage pour cémentation définies par la norme NF EN 10087

Nuance sans Pb	Nuance avec Pb
10S20	10SPb20
15SMn13	

Trempabilité

Il s'agit d'aciers de qualité ; les caractéristiques de trempabilité ne sont pas définies.

Propriétés mécaniques

La norme définit les caractéristiques mécaniques (R_m et dureté) des aciers de décolletage pour cémentation et cela à l'état non traité (c'est-à-dire à l'état brut de corroyage).

Structures

Il est possible, à la commande, de spécifier une certaine finesse des grains (annexe normative B2).

Défauts de surface

Il est nécessaire, à la commande, de préciser les défauts admissibles et leur profondeur maximale tolérable (pour ce qui concerne les discontinuités cela est faisable en s'appuyant sur la norme NF EN 10221).

Santé interne

Il est possible de fixer à la commande des exigences relatives à la santé interne avec contrôle par essais non destructifs à définir (annexe normative B3).

3.3.3 Contrôle, conformité des produits et marquage

Les types de contrôle et les documents en rendant compte sont définis par la NF EN 10204. La commande d'un produit doit définir le type de document de contrôle qui devra être remis. En l'absence d'indication, un relevé de contrôle est fourni.

Les produits doivent être marqués de la manière particulière convenue lors de la commande. Ce marquage doit permettre l'identification de la coulée, de la nuance de l'acier et de l'origine de la livraison.

3.3.4 Équivalences entre les nuances de la norme NF EN 10087 et celles des anciennes normes nationales

Un avant-propos national indique que l'on peut admettre une équivalence entre la nouvelle nuance 15SMn13 et l'ancienne nuance 13 MF 4.

3.4 Aciers de cémentation pour roulements de la norme NF EN ISO 683-17

3.4.1 Domaine d'application

Ces aciers sont utilisables dans la fabrication des roulements ; ils sont définis par la norme NF EN ISO 683-17 « Aciers pour traitement thermique, aciers alliés et aciers pour décolletage – Partie 17 : aciers pour roulements ». Cette norme qui a remplacé la norme NF A 35-565 spécifie les conditions techniques de livraison des produits en aciers spéciaux :

— demi-produits ;
— barres (si rondes diamètre ⩾ 8 mm) ;
— fil machine (diamètre ⩾ 5 mm) ;
— fil ;
— tubes ;
— anneaux et disques.

Elle classe ces aciers spéciaux en cinq catégories parmi lesquelles seuls sont considérés ici les aciers pour cémentation. Ils sont au nombre de 13.

3.4.2 Composition chimique

Les nuances définies par la norme sont répertoriées dans le tableau **25**.

Tableau 25 – Aciers alliés de cémentation pour roulements selon NF EN ISO 683-17

Nom	Numéro	Nom	Numéro
Aciers au Cr		**Aciers au Mn-Cr-Mo**	
20Cr3	B20	20MnCrMo4-2	B27
20Cr4	B21	**Aciers au Cr-Ni-Mo**	
Aciers au Mn-Cr		18CrNiMo7-6	B30
20MnCr4-2	B22	**Aciers au Ni-Cr-Mo**	
17MnCr5	B23	20NiCrMo2	B28
19MnCr5	B24	20NiCrMo7	B29
Aciers au Cr-Mo		18NiCrMo14-6	B31
15CrMo4	B25	16NiCrMo16-5	B32
20CrMo4	B26		

La norme définit comme à l'habitude les fourchettes de composition sur coulée de chaque nuance ; la teneur en soufre est limitée à un maximum de 0,015 % avec possibilité, après accord à la commande d'aller jusqu'à 0,030 % pour améliorer l'usinabilité.

3.4.3 États de livraison et niveaux de dureté

La norme définit les différents états structuraux de livraison et précise les prescriptions correspondantes relatives à la dureté des produits :

— non traité (état brut de corroyage à chaud) ;
— traité pour une meilleure aptitude au cisaillage (suffixe +S) avec fixation d'une limite supérieure de la dureté sauf pour les nuances 20Cr3, 20Cr4, 17MnCr5 et 20NiCrMo2 (qui sont cisaillables à l'état non traité) ;
— recuit (suffixe + A) avec fixation d'une limite supérieure de la dureté (on retrouve ici l'ancien état « adouci ») ;
— recuit de relaxation des contraintes (suffixe +SR) ;
— recuit pour une dureté fixée (suffixe +HR) ;
— sphéroïdisé (suffixe +AC) avec fixation d'une limite supérieure de la dureté (cet état est très voisin de l'ancien état dit « globulisé ») ;
— sphéroïdisé et traité pour une meilleure aptitude de la transformation à froid (suffixe +AC+C) avec fixation d'une limite supérieure de la dureté qui peut dépasser d'environ 50 HB la limite fixée pour l'état +AC ;
— traité (par trempe isotherme) pour une structure ferrite-perlite (suffixe + FP) avec fixation d'une fourchette de dureté (cet état est très voisin) de l'ancienne structure dite « en bloc » ;
— autres à définir à la commande.

Toute reproduction sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie est strictement interdite.
© Techniques de l'Ingénieur, traité Matériaux métalliques

3.4.4 Trempabilité

La trempabilité est caractérisée à l'aide de limites de dureté entre lesquelles doit se trouver la courbe Jominy des coulées.

3.4.5 Microstructure

Sous ce titre la norme inclut :

— une exigence de finesse du grain auténitique : l'indice ne doit être inférieur à 5 pour au moins 70 % de la surface examinée ;

— une tolérance concernant la présence, à l'état + AC de restes de carbures dont la sphéroïdisation est incomplète ;

— une tolérance concernant la présence de bainite (jusqu'à 10 %) dans la structure ferrite-perlite (+FP).

3.4.6 Inclusions non métalliques

Obligation pour les aciers de présenter un haut niveau de propreté, c'est-à-dire une faible teneur en inclusions non métalliques. Une annexe B (informative) à la norme définit les exigences à satisfaire selon la méthode d'essai choisie à la commande

3.4.7 Qualité de surface

La norme définit 9 états de surface à la livraison qui ne sont pas réalisables pour tous les produits et sont parfois réservés à un seul (exemple l'état +CP réservé aux tubes) :

— brut de corroyage à chaud ;
— écrouté (suffixe (+P) ;
— tourné (suffixe +T) ;
— rectifié (suffixe +GR) ;
— usiné (suffixe +MA) ;
— étiré à froid (suffixe +CD) ;
— étiré à froid sur laminoir à pas de pèlerin (suffixe +CP) ;
— laminé à froid (suffixe +CR) ;
— autre à définir à la commande.

La norme indique par ailleurs qu'il est possible, à la commande de barres et de fil machine, de préciser les défauts admissibles et leur profondeur maximale tolérable en se référant à l'ISO 9443.

4. Aciers pour nitruration

4.1 Généralités

Les traitements de nitruration ont pour objet la création d'une couche durcie par introduction d'azote en phase ferritique, à des températures comprises entre 400 et 575 °C et sans nécessité d'effectuer une trempe finale.

L'azote peut durcir l'acier :

— par effet de solution solide interstitielle. Il forme alors ce que l'on appelle une couche de diffusion dans laquelle, en présence d'éléments d'alliage convenables (Al, Cr, Mo, V...), il est susceptible de précipiter finement sous forme de nitrures, voire de carbonitrures, précipitation qui apporte alors un durcissement complémentaire ;

— en s'alliant avec le fer, il peut former, à l'extrême peau, une couche de combinaison constituée de nitrures Fe_4N (γ') et/ou $Fe_{2-3}N(\varepsilon)$. Cette couche mince (< 30 µm), qui peut être monophasée ou biphasée, possède une dureté élevée ; elle est suivie en profondeur d'une couche de diffusion.

Le domaine de température dans lequel est généralement exécutée la nitruration conduit souvent à réaliser ce traitement sur des aciers préalablement trempés et revenus, dans la mesure où celui-ci est exécuté à une température supérieure à la température de nitruration (dans certains cas, le traitement de nitruration peut aussi assurer le revenu).

On pourra donc nitrurer des aciers non alliés, mais les nuances les plus adaptées à la nitruration seront alliées avec des additions d'aluminium, de chrome, de molybdène, de vanadium (éléments qui ont une grande affinité pour l'azote). Ceux de ces éléments qui augmentent la trempabilité permettront, par ailleurs, d'améliorer les performances du métal en sous-couche par l'intermédiaire d'un traitement préalable, et ce d'autant plus qu'il seront susceptibles d'engendrer un durcissement secondaire.

Ces aciers ne sont pas définis par une norme spécifique (ils étaient extraits de la norme NF A 35-552), mais on peut mettre en œuvre ainsi toutes les nuances définies par la norme NF EN 10083-1.

Le tableau **26** permet d'apprécier [11] les résultats que donnera la nitruration de ces différents aciers.

Tableau 26 – Aciers de la norme NF EN 10083 pouvant être nitrurés [11]

Type d'acier	Couche de combinaison				Couche de diffusion	
	Configuration γ'		Configuration ε			
	Épaisseur (µm)	Dureté HV	Épaisseur (µm))	Dureté HV	Épaisseur (µm)	Dureté HV
Acier non allié.....	8 à 10	500 à 750	20 à 25	950 à 1 100	0,3 à 0,5	350
Acier au Mn.....	8 à 10	500 à 750	20 à 25	950 à 1 100	0,3 à 0,5	350
Acier au Cr	4 à 8	900 à 1 100	15 à 20	950à 1 100	0,3 à 0,5	600 à 750
Acier au Cr-Mo.....	4 à 8	950	15 à 20	950 à 1 100	0,3 à 0,5	600 à 800
Acier au Ni-Cr-Mo.....	≈ 5	5 à 15	.....	.....	≈ 0,3	600 à 900

Toute reproduction sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie est strictement interdite.
© Techniques de l'Ingénieur, traité Matériaux métalliques

4.2 Norme NF EN 10085 « Aciers pour nitruration »

4.2.1 Domaine d'application. Désignation et commande

■ Cette norme spécifie les conditions techniques de livraison des produits en aciers alliés pour nitruration (voir NF EN 10079 pour les définitions des produits) :

— demi-produits ;
— barres (diamètre ⩽ 250 mm) ;
— fil machine ;
— larges plats (épaisseur ⩽ 160 mm) ;
— tôles et feuilles laminées à chaud (épaisseur ⩽ 160 mm) ;
— produits forgés.

Ces aciers alliés sont particulièrement aptes à la nitruration parce qu'ils contiennent au moins deux éléments d'alliage (Al, Cr, Mo ou V) formant des nitrures. La norme rappelle que ces aciers sont des aciers spéciaux.

■ La norme précise les informations qui doivent figurer dans l'appel d'offre et dans la commande.

4.2.2 Prescriptions

■ **État de livraison**

L'état de livraison englobe l'état structural et l'état de surface.

En l'absence d'accord contraire lors de la commande, l'état normal de livraison est l'état brut de corroyage à chaud (aussi bien en ce qui concerne l'état structural que l'état de surface).

Des états particuliers peuvent être spécifiés à la commande. La norme prévoit les options énoncées dans l'encadré **5**.

Encadré 5 – Options des états particuliers de livraison prévues par la norme NF EN 10085

• **État de traitement thermique** :
— recuit d'adoucissement avec dureté maximale (+A) ;
— trempé et revenu avec fourchette de résistance à la traction et minima de limite d'élasticité, d'allongement à rupture et de résilience KV (+QT) ;
— autre (à définir).
• **État de surface** :
— brut de corroyage décapé à l'acide (+PI) ;
— brut de corroyage grenaillé (+BC) ;
— brut de corroyage écrouté (à définir) ;
— autre (à définir).

■ **Composition chimique**

La norme définit 9 nuances d'aciers alliés (tableau **27**).

Tableau 27 – Aciers pour nitruration

Nom	Numéro
23CrMo13-6	
31CrMo12	1.8515
31CrAlMo7-10	
31CrMoV9	1.8519
32CrMoV12-9	
34CrAlNi7	1.8550
41CrAlMo7	1.8509
39CrMoV13-9	1.8523
34CrAlMo5	1.8507

■ **Trempabilité**

Les caractéristiques de trempabilité ne sont pas définies. La norme prévoit que, pour les livraisons à l'état autre que trempé et revenu, elles peuvent être vérifiées sur une éprouvette de référence ; les modalités du contrôle doivent alors faire l'objet d'un accord à la commande.

■ **Aptitude au cisaillage des demi-produits et de barres**

Tous les aciers sont dits cisaillables à l'état adouci.

■ **Structures**

Sous ce titre la norme indique que les exigences portant sur la teneur en ferrite à cœur doivent faire l'objet d'un accord à la commande.

■ **Défauts de surface et décarburation**

Il est nécessaire, à la commande, de préciser les défauts admissibles et leur profondeur maximale tolérable (pour ce qui concerne les discontinuités cela est faisable en s'appuyant sur les normes NF EN 10221 et NF EN 10163-2).

La profondeur de décarburation admissible doit être fixée à la commande (contrôle selon Euronorm 104).

■ **Santé interne**

Il est possible de fixer à la commande des exigences relatives à la santé interne avec contrôle par essais non destructifs à définir (annexe normative B3).

4.2.3 Contrôle, conformité des produits et marquage

Les types de contrôle et les documents en rendant compte sont définis par la NF EN 10204. La commande d'un produit doit définir le type de document de contrôle qui devra être remis. En l'absence d'indication, un relevé de contrôle est fourni.

Les produits doivent être marqués de la manière particulière convenue lors de la commande. Ce marquage doit permettre l'identification de la coulée, de la nuance de l'acier et de l'origine de la livraison.

Toute reproduction sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie est strictement interdite.
© Techniques de l'Ingénieur, traité Matériaux métalliques